

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:**

10 2004 051 949.8

**Anmeldetag:**

25. Oktober 2004

**Anmelder/Inhaber:**

PRÜFTECHNIK Dieter Busch AG,  
85737 Ismaning/DE

**Bezeichnung:**

Vorrichtung und Verfahren zur Erkennung von Defek-  
ten an Gegenständen oder zu Ortung von Objekten

**IPC:**

G 01 N, G 01 V

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 10. Oktober 2005  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Wallner



## Vorrichtung und Verfahren zur Erkennung von Defekten an Gegenständen oder zur Ortung von Objekten

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren, welches sowohl für die Ortung von metallischen Gegenständen z.B. im Erdreich geeignet ist, als auch zur Erkennung von Defekten an Gegenständen verwendet werden kann. Insbesondere kann die Erfindung zur Erkennung von Defekten an metallischen Gegenständen, und hier insbesondere an ferromagnetischem Halbzeug oder Fertigprodukten verwendet werden.

Ähnliche Vorrichtungen und Verfahren dieser Art sind seit längerer Zeit bekannt, es besteht aber weiterhin die Aufgabe, höherwertige tragbare Meßgeräte der gattungsgemäßen Art zu schaffen, insbesondere solche auf Basis einer Wirbelstrom-Meßtechnik, oder auf Basis Ultraschall-Messtechnik oder artverwandter Meßtechniken.

Aufgabe ist es somit, ein Gerät der gattungsgemäßen Art bereitzustellen, für welches der erforderliche Aufwand zu dessen Herstellung signifikant reduziert ist, und welches gleichzeitig - möglichst noch bei verringertem Energiebedarf - präzisere und zuverlässigere Messungen ermöglicht.

Die vorliegende Erfindung löst das anstehende Problem nach Maßgabe der Merkmale des bzw. der unabhängigen Patentansprüche. Ein wichtiger Aspekt der Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß es möglich ist, bislang ungenutzte Signalquellen entweder alleine oder im Zusammenspiel mit an sich bekannten und nach dem Stand der Technik verwendeten Signalquellen zu verwenden.

Die erfindungsgemäße Vorgehensweise sieht dazu ein als innovativ betrachtetes erweitertes Demodulationsverfahren vor, welches sich von einem einfachen Gleichrichtungsverfahren in erheblicher Weise und auch von herkömmlichen Synchrondemodulationsverfahren signifikant unterscheidet. Im übrigen kann das Demodulationsverfahren in diesem Zusammenhang auch für die Auswertung einer stark reduzierten Teilmenge der verfügbaren Informationen



verwendet werden. Es kann unabhängig davon mit einem innovativen adaptiven Filterverfahren kombiniert werden.

Das Demodulationsverfahren kann im wesentlichen als ein solches für amplitudenmodulierte Signale aufgefasst werden. Solche treten bekanntermaßen bei herkömmlichen Radio/Rundfunksignalen auf. Wie hier bevorzugt vorgesehen, kann dies z.B. auch bei der Wirbelstrom- oder Ultraschallprüfung an industriell gefertigten Prüflingen der Fall sein. Insofern wird für den erfindungsgemäßen Prozess der Demodulation die Existenz eines Trägers vorausgesetzt, zumindest dessen Rückgewinnbarkeit aus beliebigen Signalquellen. - Herkömmliche Demodulationsverfahren der hier diskutierten Art beschränken sich lediglich darauf, die spektrale Energiedichte und ggf. die Phasenlage im Umfeld der Trägerfrequenz zu ermitteln - insbesondere die der angrenzenden Seitenbänder, welche typischerweise die interessierende und zeitlich variierende Information tragen. Demgegenüber sieht die Erfindung vor, zusätzlich die Energiedichten (sprich Amplituden) im Umfeld zumindest der zweifachen, bei Bedarf auch der dreifachen und ggf. auch der vierfachen Frequenz im Vergleich zur Trägerfrequenz zu ermitteln, allgemein solcher Oberwellen, deren Signal/Rauschverhältnis größer ist als eins. Weiterhin wird gemäß der Erfindung weniger die zeitliche Variation der Phasenlage des Trägers betrachtet, sondern bevorzugt die zeitliche Variation der Phasenlage der genannten Oberwellen, und zwar einzeln oder in Kombination, auch mit der Phasenlage des Trägers. Es werden im Vergleich zu bekannten Verfahren somit eine Mehrzahl an Amplituden- und Phasenwerte erfasst, welche gemäß der Erfindung je nach Anwendungsfall in additiv/subtraktiver Kombination(en) ausgewertet werden können, oder weiterhin auch durch einen oder mehrere Kennwerte, die nach Multiplikation oder Division der ursprünglichen Werte miteinander erhalten werden können. - Es sei an dieser Stelle angemerkt, daß ein herkömmliches z.B. Synchrondemodulationssignal lediglich Amplituden- und Phaseninformationen bereitstellt im Bereich der auf einen Wert Null verschobenen Trägerfrequenzanteile. Eine gleichzeitige Bereitstellung solcher Werte für höhere Frequenzen (d.h. zum Träger gehörende Oberwellen) ist prinzipiell nicht möglich (vgl. Figuren 8 und 9). - Das erfindungsgemäße Verfahren basiert also darauf, daß unter passenden Voraussetzungen nicht nur der Informationsgehalt des Trägers abgeschöpft und genutzt werden kann, sondern ebenfalls und zusätzlich auch der Informationsgehalt der Oberwellen des Trägers, und zwar in

Bezug auf deren zeitlich variablen Amplituden und/oder Phasenlagen. Sofern einige Oberwellen des Trägers sich als eher zeitlich konstant erweisen, kann dieser Sachverhalt zu Vergleichs- und Referenzzwecken genutzt werden. Vorgreifend wird hier auf die Fig. 2 verwiesen, welche das Spektrum eines Wirbelstromtestsignals wiedergibt, welches mit einem kommerziellen Testsystem an einem mehrere Defekte aufweisenden Prüfling generiert wurde. Basierend auf ca. 1,5 Millionen konsekutiv mit 16-bit-Auflösung abgetasteten Samples, welche anteilig auch die defektverursachten Signalanteile beinhalten, wird in halblogarithmischer Darstellung deutlich gezeigt, daß ein solches Signal neben dem intensiven Trägersignal (ca. 92 dB) auch die 1., 2. und 3. Harmonische sowie weitere Spektrallinien aufweist, die einen deutlichen Abstand zum sog. Rauschen (hier ca. 0 dB) besitzen. Zusätzlich kann die Intensität der Gleichspannungskomponente (= Frequenz bei 0 kHz) abgelesen werden. Diese Informationen können gemäß der Erfindung in innovativer Weise genutzt werden.

Die Erfindung wird im weiteren anhand der Zeichnung erläutert.

Es zeigt:

- Fig. 1 das Schema des allgemein verwendeten Meßprinzips
- Fig. 2 gemittelte spektrale Anteile (PSD) eines so erhaltenen Meßsignals
- Fig. 3 Spektrale Anteile bei Abwesenheit von Fehlern
- Fig. 4 Spektrale Anteile in Gegenwart eines Fehlers
- Fig. 5 Spektrale Anteile bei Abwesenheit von Fehlern, intermittierende Abtastung
- Fig. 6 Spektrale Anteile in Gegenwart eines Fehlers, intermittierende Abtastung
- Fig. 7 Spektrale Anteile bei Synchrondemodulation, intermitt. Abtastung,  
bei Abwesenheit von Fehlern
- Fig. 8 Spektrale Anteile bei Synchrondemodulation, intermitt. Abtastung,  
in Gegenwart eines Fehlers
- Fig. 9 Phasenverhalten bei Synchrondemodulation, intermitt. Abtastung,

bei Abwesenheit von Fehlern

Fig. 10 Phasenverhalten bei Synchrondemodulation, intermitt. Abtastung,  
in Gegenwart eines Fehlers

Fig. 11 Phasenverhalten bei Fourierdemodulation, intermitt. Abtastung,  
bei Abwesenheit von Fehlern

Fig. 12 Phasenverhalten bei Fourierdemodulation, intermitt. Abtastung,  
in Gegenwart eines Fehlers

Fig. 13 Auswertungsschema für ein amplitudenmoduliertes Zeitsignal

Fig. 14 das Schema eines erfindungsgemäßen Gesamtsystems

Fig. 15 eine Resultatdarstellung, erhalten per fourierdemoduliertem Gesamtsignal  
bei Abwesenheit von Fehlern

Fig. 16 eine Resultatdarstellung, erhalten per fourierdemoduliertem Signal  
basierend auf intermittierender Abtastung, bei Abwesenheit von Fehlern

Fig. 17 dito für fourierdemoduliertes Gesamtsignal

bei beobachtetem Fehler.

Fig. 18 dito für fourierdemoduliertes Signal ermittelt m. intermitt. Abtastung,  
bei beobachtetem Fehler

In Fig. 1 ist ein Teil eines Prüflings 13 gezeigt, repräsentiert in Form eines industriellen Halbzeugs (Bramme), samt einem dort vorhandenen und zu detektierenden Defekt 15. Der Prüfling 13 kann sich mit konstanter oder unterschiedlicher Geschwindigkeit (Parameter "v") an einer Teststation vorbei bewegen, welche mindestens eine Sendespule 12 (Symbol: L1) und mindestens eine Empfangsspule 14 (Symbol: L2) enthält. Die mindestens eine Sendespule 12 wird geeignet d.h. nach Maßgabe des Erfindungsgedankens mittels einer im wesentlichen

konstanten Wechselspannung (ca. 1 - 1200 kHz, ggf. auch Sonderfrequenzen) bestromt. An der mindestens einen Empfangsspule 14 wird ein Wirbelstromsignal von gleicher Frequenz aber durch Defekt(e) 15 bedingten Amplitudenschwankungen abgegriffen (vgl. Fig. 14 mit einem einzigen Bereich reduzierter Amplitude).

In Fig. 2 werden in halblogarithmischer Darstellung die Spektralanteile ("PSD") eines solcherart erhaltenen und mittels Fouriertransformation gewandelten Signals gezeigt. Die schmalbandige Linie maximaler Intensität ist dem sog. Träger zuzuordnen, der in diesem Falle eine Frequenz 5.000 kHz aufweist. Wie man sieht, ist der DC-Anteil bei der Frequenz 0 kHz wesentlich geringer, und auch geringer als die Intensität der sog. 1. und 2. Oberwelle. Neben den letztgenannten Spektralanteilen sind diverse weitere Linien vorhanden, die sich deutlich von einem bei etwa 0 dB anzutreffenden Basispegel abheben. In dieser Figur wird das Frequenzspektrum wiedergegeben, welches auf einer sehr großen Anzahl von Abtastwerten basiert und welches Signalanteile enthält, die im wesentlichen auf defektfreie Bereiche des untersuchten Prüflings zurückgehen, aber auch diejenigen Signalanteile, die auf einige (in diesem Fall 4 Stück) Defektbereiche des Prüflings zurückzuführen sind. - Es sei noch einmal festgehalten, daß das erfindungsgemäße Verfahren im Gegensatz zu anderen normalerweise benutzten Demodulationsverfahren nicht nur die zeitliche Variation des Trägers bestimmen kann, sondern zusätzlich die Größe und zeitliche Variation einer eventuell überlagerten Gleichspannungskomponente, so daß ein zusätzlicher Meßwert ausgewertet und kontrolliert werden kann.

Fig. 3 repräsentiert einen ähnlichen Sachverhalt wie Fig. 2, jedoch basierend auf einer reduzierten Anzahl von Abtastwerten, welche auf defektfreie Bereiche des untersuchten Prüflings zurückgehen. Die anteiligen Spektrallinien erscheinen daher im Vergleich zu Fig. 2 verbreitert. Wie man bereits hier sieht, hat sich das Verhältnis der Intensitäten von 1. Oberwelle zur Trägerlinie und auch dasjenige der 1. Oberwelle zur 2. Oberwelle merklich verändert.

Fig. 4 repräsentiert einen ähnlichen Sachverhalt wie Fig. 2, ebenfalls basierend auf einer reduzierten Anzahl von Abtastwerten, welche nun aber auf einen einzelnen defektiven Bereich des untersuchten Prüflings zurückgehen. Die anteiligen Spektrallinien erscheinen ebenfalls

verbreitert, und es wird deutlich, daß sich das Verhältnis der Intensitäten von Trägerlinie, 1. und 2. Oberwelle erneut verändert hat.

Fig. 5 ist mit Fig. 3 zu vergleichen, beruht aber auf einem anderen wichtigen Aspekt der Erfindung, gemäß dem nämlich eine vergleichbare Darstellung mit wesentlich reduziertem Hard- und Softwareaufwand erhalten werden kann, wenn intermittierend Meßwerte erfaßt ("gesampelt") werden. D. h. das gleiche Signal wurde nicht anhand konsekutiv erfaßter Meßwerte ausgewertet, sondern lediglich anhand einer Teilmenge von Abtastwerten. In dem gezeigten Falle wurde beispielsweise nur jeder 97. Abtastwert ("Sample") ausgewertet. Wie man sieht, ergibt sich ein vergleichbarer, wenn auch reduzierter Informationsgehalt.

Ähnliches gilt für Fig. 6, welche mit Fig. 4 zu vergleichen ist, d.h. auf einer weiter reduzierten Anzahl von Abtastwerten beruht, welche hier in direkt vergleichbarer Weise auf einen einzelnen defektiven Bereich des untersuchten Prüflings zurückgehen. Auch in diesem Falle wurde nur jedes 97. Sample zur Signaldarstellung herangezogen. Neben der Trägerlinie sind die Intensitäten der 1. und 2. Oberwelle zu erkennen.

Im Gegensatz dazu zeigt Fig. 7, welche ebenfalls mit Fig. 4 bzw. Fig. 6 zu vergleichen ist, d.h. ebenfalls auf einer weiter reduzierten Anzahl von Abtastwerten beruht, folgendes: Bei einer Synchrondemodulation, welche in vergleichbarer Weise auf intermittierend ausgewählten Samples basiert (hier aber jedes 96. Sample erfaßt), wird die Trägerlinie lediglich zu einer Gleichspannungskomponente konvertiert, Informationen zu irgendwelchen Oberwellen oder der ursprünglich vorhandenen DC-Komponente des Signals sind aus gegebenen Gründen nicht mehr vorhanden, unabhängig davon, ob ein durch einen Defekt verursachtes Signal vorliegt oder nicht.

Dies wird in Fig. 8 gezeigt, welche auch auf intermittierend ausgewählten Samples basiert (ebenfalls nur jedes 96. Sample), die aber auf einen Signalbereich zurückgehen, der für den bereits in Fig. 4 und 6 gezeigten Defekt repräsentativ ist. Neben der Gleichspannungskomponente (bei der Frequenz 0 kHz) sind keine auswertbaren weiteren Spektrallinien vorhanden.

Die zu Fig. 7 und 8 gehörige Phaseninformation auf Basis einer Synchrondemodulation wird sodann in Fig. 9 resp. 10 gezeigt, welche aber nur wenig nutzbar ist. Es wird lediglich wiedergegeben, daß die Phasendifferenzen der Spektralanteile bei Abwesenheit eines Defektes geringer zu sein scheinen als bei aktueller Beobachtung eines Defektes.

Wie aus Fig. 11 ersichtlich, bietet das erfindungsgemäße Verfahren hier nutzbare Vorteile, indem neben der Phaseninformation für den Träger zusätzlich speziell diejenigen für die 1. und 2. Oberwelle dargestellt werden können. Dies gilt auch für "gelückte" Datenerfassung, welche hier wiederum auf beispielsweise jedem 97. genutzten Sample eines Signals basiert, und zwar bei Defektfreiheit des Prüflings. (In der Praxis wird man verständlicherweise auf die Erfassung von nicht genutzten Samples verzichten und dann bei stark reduzierter Sample-Frequenz lediglich solche Samples erfassen, die der als Beispiel genannten Teilmenge basierend auf jedem 97. Sample. Diese Vorgehensweise ermöglicht unter anderem die Verwendung langsamer, hochauflösender Analog-Digital-Wandler und reduziert darüberhinaus in vorteilhafter Weise den erforderlichen Rechenaufwand).

Demgegenüber zeigt Fig. 12 im Vergleich zu Fig. 11 die Verhältnisse, wenn der Prüfling einen Defekt aufweist. Die gezeigte Gesamtphasenverschiebung ist unbeachtlich und ist einem Startphasenwert zuzuordnen. Wichtig ist vor allem, daß neben der Phasenlage des Trägers eine sehr signifikante Phaseninformation der 2. Oberwelle erkennbar ist; in gewisser Weise auch eine solche in der Umgebung der 1. Oberwelle. Es ist eines der Anliegen der Erfindung, eben diese Phaseninformation in neuartiger Weise (also speziell auch für die Alternative "gelückte" Betriebsweise) zur verbesserten Detektion von Defekten an Gegenständen zu verwenden. In gleicher Weise kann diese Phaseninformation zur verbesserten Detektion von Gegenständen durch batteriebetriebene sog. Metallsuchgeräte herangezogen werden. In diesem Falle ermöglicht die "gelückte" Datenerfassung und Betriebsweise eine sehr willkommene Energieeinsparung.

Bei Auswertung konsekutiv (ohne Lücken) erfaßter Daten ist es sinnvoll, standardmäßige Fouriertransformationen ( z.B. per FFT oder per DFT ) oder ggf. auch Wavelet-Transformationen zu verwenden. Eine erste Filterwirkung ergibt sich in an sich bekannter Weise dadurch, daß die per Fouriertransformation dargestellten Spektral-Linien eine Breite aufweisen, die umgekehrt proportional ist zur Anzahl der zugrundegelegten



Samples (Unschärferelation). Insofern ist es gemäß der Erfindung nützlich, nicht weniger als jeweils 9 geeignete Samples einer Fourier-Transformation zuzuführen, damit neben der Träger-Linie zumindest auch die 1. und die 2. Oberwelle nach Betrag (Intensität) und Phase dargestellt werden können.

Fig. 13 zeigt als Beispiel zu verstehendes Schema die Vorgehensweise bei Anwendung der "gelückten" also intermittierend (bevorzugt äquidistant intermittierend) arbeitenden Datenerfassung. Es möge wie gezeigt per Spule L2 eine über die Zeit "t" bzw. ein zugehöriges Winkelmaß "phi" sinusförmig verlaufende Trägerspannung "U<sub>in</sub>" erfaßt werden. Diese wird bei Anwesenheit eines Fehlers kurzfristig modifiziert (vgl. Zeitmaß 4e3) um danach wieder auf den ursprünglichen Wert anzusteigen. Wie dargestellt, ist es möglich, eine Datenerfassung zu den Zeiten A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O durchzuführen, insbesondere unter Verwendung einer Zusammenschaltung eines sog. A/D-Konverters und eines Sample-and-Hold-Gliedes. Wie gezeigt, möge die Erfassung im zeitl. Abstand entsprechend 420° el. stattfinden, also bei 0°, 420°, 840°, 1260° usw. In an sich bekannter Weise entsteht so ein Abbild sowohl der Trägerspannung als auch der Modulationseinwirkung, vgl. Zeitpunkte K und L, die einen geringeren Spannungswert aufweisen als zu den vergleichbaren Zeitpunkten E und F. Wie ebenfalls an sich bekannt, werden nicht nur die Intensitätsverhältnisse abgebildet, sondern auch die zugehörigen Phasenverhältnisse. Insofern gibt eine Fourier-Transformation, die z.B. die bei C D E F G H I J K vorliegenden neun Spannungswerte verarbeitet, nicht nur einen mittleren Amplitudenwert für die Grundwelle wieder, sondern auch deren Phasenlage. Hierzu ist es ggf. in bekannter Weise erforderlich, die Startphasenlage korrekt in Anrechnung zu bringen. Die abschnittsweise Erfassung von Fouriertransformierten kann somit per Blöcken von z.B. je 9 (oder wesentlich mehr) Samples durchgeführt werden, die sich durch/nach Verschiebung um definierte Winkel-Inkremente, sprich Samplezahl, ergeben. Dem Fachmann sind dabei Verfahren geläufig, die es gestatten, den Rechenaufwand zur Ermittlung abschnittsweiser Resultate gering zu halten, z.B. per FFT im Falle von 8 oder 16 zugrundegelegten Samples pro Block. Wie bereits erwähnt, kann durch eine intermittierend arbeitende Signalerfassung nicht nur erheblich an Hardwarekosten für die zugehörige Elektronik eingespart, sondern auch der erforderliche Rechenaufwand drastisch

verringert, wie dies an sich für einen Filter bekannt ist. Das genannte Rechensignal wird auf einen Generator 48' als Vorgabefrequenz geliefert. Der Generator 48' erzeugt daraus

reduziert werden. In den bereits gezeigten Fig. 5 bis Fig. 12 ist dies z.B. ein Faktor von ca. 100.

Die Bestandteile einer erfindungsgemäßen Gesamt-Systems wird im folgenden anhand der Zeichnung Fig. 14 beschrieben.

Im oberen Teil der Fig. 14 wird in schematischer Weise ein Prüfling 13 in Form eines industriellen Halbzeugs (Bramme) gezeigt samt einem zu detektierenden Defekt 15. Der Prüfling 13 kann sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit (Parameter "v") an einer Teststation vorbei bewegen, welche mindestens eine Sendespule 12 (Symbol: L1) und mindestens eine Empfangsspule 14 (Symbol: L2) enthält. Die Geschwindigkeit des Prüflings wird mit einem elektronisch wirkenden Geschwindigkeitsaufnehmer 17 erfaßt, welcher entsprechende elektronische Signale abzugeben gestattet.

Neben einem hochauflösendem A/D - Wandler 32 nach derzeit neuester Technologie ist eine Elektronik bzw. Computer 40 mit den Eigenschaften eines Signalprozessors wesentlicher Bestandteil der Erfindung. Ein Counter/Timer-Baustein 44 kann außerhalb des Computers 40 vorgesehen oder in diesen integriert sein. Im Subsystem 60 befindet sich die erfindungsgemäß erforderliche Einrichtung zur Erzeugung von Fouriertransformierten (äquivalent: Wavelet-Transformieren) und eine als Digitalfiltereinheit bezeichnete Vorrichtung mit softwaremäßig definierten Filtersätzen 62. Diese sind ebenfalls vorzugsweise im Computer 40 integriert und können in dedizierter Hardware oder kostensparend lediglich in einer im Computer ausführbaren Software implementiert sein. Wie technisch an sich üblich, kann der Computer 40 nach außen hin an eine Tastatur 60, ein Display 50 und/oder an ein lokales Netzwerk (Bezugszeichen "LAN") bzw. WAN angebunden sein.

Auch im stationären, also unbewegten Zustand des Prüflings 13 erzeugt der Timer 44 ein Zeitsignal hoher Frequenzstabilität. Dieses Zeitsignal kann nach Wunsch bzw. den technischen Erfordernissen in der Frequenz variiert werden und steht typischerweise als Rechtecksignal zur Verfügung, wie dies an sich für einen Timer bekannt ist. Das genannte Rechtecksignal wird auf einen Generator 48' als Vorgabefrequenz geliefert. Der Generator 48' erzeugt daraus

entweder ein Rechtecksignal oder ein Sinussignal, bevorzugt mit einstellbarer Amplitude. (Ein Rechtecksignal erzeugt in an sich bekannter Weise ungeradzahlige, hier vorteilhaft verwendbare Oberwellen). Das genannte Signal wird auf einen optional vorgesehenen Kurvenformer KF und einen Leistungsverstärker PA gegeben, welche in einer Einheit 42 zusammengefaßt sein können. Der Leistungsverstärker ist geeignet, die Sendespule 12 zu bestromen. Infolgedessen wird im Prüfling 13 in an sich bekannter Art ein Wirbelstromfeld induziert. Dieses wird von der schematisch gezeigten Empfangsspule 14 - welche nach dem Stand der Technik auch als Differenzspulensatz o.ä. ausgebildet sein kann - registriert und als Wechselspannung ggf. über einen oder mehrere Bandpässe 18' und vorzugsweise über zumindest einen (bevorzugt einstellbaren) Vorverstärker 16 dem bereits erwähnten A/D-Wandler 32 zugeführt. Dieser besitzt eine Auflösung von typischerweise 18 bit oder besser, bevorzugt 22 bit oder besser. Unter speziellen Voraussetzungen (z.B. bei low-cost Geräten) kommt auch eine Auflösung von 12 bit in Frage, insbesondere wenn ca. je 1000 oder mehr Samples einer Fourier-Transformation zugeführt werden. Der A/D - Wandler ist bevorzugt in der Lage, weit mehr als 500 Analog/Digitalkonversionen pro Sekunde durchzuführen. Wie an sich bekannt, resultiert bei Anwesenheit eines Defektes 15 im Prüfling ein modifiziertes Wirbelstromfeld, welches eine in Amplitude und/oder Phase veränderte Wechselspannung in der Empfangsspule 14 induziert.

Dementsprechend hängt die Leistungsfähigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens in gewisser Weise von der Leistung des bzw. der verwendeten A/D-Konverter ab. Dabei ist neben der Mindest-Konversionszeit auch die Auflösung (in bits) von Bedeutung. Ansonsten existiert eine erhebliche Gestaltungsmöglichkeit in Hinblick auf ein zu verwendendes Abtast-Schema; d. h. zu welchen Zeiten das von der Spule L2 gelieferte Signal ausgewertet (gesampelt) wird bzw. werden soll. Es wird lediglich eine Samplezahl von  $> 3$ , besser  $> 9$  mit jeweils unterschiedlicher Phasenlage bezogen auf die Nulldurchgänge des Trägersignals für einen einzelnen Demodulationsvorgang zugrundegelegt. Nach oben hin ist diese Zahl nur durch praktische Gegebenheiten begrenzt: Auch die Art und Weise der Bereitstellung von jeweils satzweise auszuwertenden Samples kann nach sehr unterschiedlichen Schemata erfolgen. Wiewohl eine zeitlich äquidistante Bereitstellung von Samples bevorzugt wird, ist dies nicht

unbedingt erforderlich, da im Prinzip auch eine Analyse nach Lomb vorgenommen werden kann.

Bei Verwendung von Fourier-Methoden ist es sinnvoll, die als komplexe Zahlen verwendeten Faktoren bei der Berechnung eines einzelnen Satzes an Samples (n-te Einheitswurzeln) so zu wählen und zu verwenden, daß die (komplexwertige) Summe dieser Faktoren in an sich bekannter Weise den Wert 0 ergibt. Bei der äquivalenten Anwendung von Wavelet-Verfahren ergeben sich ähnliche Randbedingungen und Betrachtungen.

Optional kann die Erfindung auch mit einem elektronisch wirkenden Geschwindigkeitsgeber 17 kombiniert werden. Dies hat den Vorteil, dass im Vergleich zu derzeit handelsüblichen Geräten eine erhebliche Einsparung an Filterbaustein-Sätzen auf nachfolgend beschriebene Weise erzielt werden kann:

Werden nur wenige Samples pro auszuwertendem Datensatz verwendet, so werden spektrale Anteile des auszuwertenden bzw. zu demodulierenden Signals aus einem größeren Umfeld der Trägerfrequenz, und auch der zugehörigen Oberwellen, bereitgestellt. Dies beruht auf der sogenannten Unschärferelation. Es ist bekannt, daß das genannte Umfeld bzw. die jeweilige Linienbreite umgekehrt proportional ist zur Anzahl der jeweils aktuell verwendeten Samples.

Wird eine große Selektivität d.h. große Linienschärfe erreichen, ist eine große Anzahl von Samples der jeweils aktuellen Rechnung (Transformation) zuzuführen.

Unter dieser Voraussetzung ist es erfindungsgemäß möglich, mit sehr geringem Hardware-Aufwand die derzeitigen kostenintensiven Filterstufen zu ersetzen, die eine Abhängigkeit des auszuwertenden Signals nach Maßgabe der Prüflingsgeschwindigkeit berücksichtigen.

Hierbei wird davon ausgegangen, daß bei langsamen Prüflingsgeschwindigkeiten nur relativ kleine, d.h. schmalbandige Frequenzbereiche im Umfeld des Trägers auszuwerten sind. Bei herkömmlicher Synchrondemodulation wird dies mittels eines passend eingestellten Tiefpasses von geringer Bandbreite vorgenommen. Bei größeren Prüflingsgeschwindigkeiten sind breitere

und vergrößerte Frequenzbereiche im Umfeld des Trägers auszuwerten. Die Situation ist entfernt ähnlich wie bei der Wiedergabe von Tonband-Informationen, wo eine langsame Wiedergabegeschwindigkeit des Tonbandes lediglich mit einer geringen Bandbreite, eine große Wiedergabegeschwindigkeit jedoch mit einer großen Bandbreite einhergeht.

Die oben genannte Unschärfebedingung bedeutet ebenfalls, daß die erzielbare Bandbreite umgekehrt proportional ist zur Verfügung stehenden Meßzeit, sofern man die normalerweise gegebene Proportionalität von Sampleanzahl und zugehöriger Meßzeit annimmt.

Wird dementsprechend bei großer Prüflingsgeschwindigkeit eine große Filterbandbreite für das auszuwertende Signal gewünscht, so ist eine kleine Anzahl von Samples, also eine kleine (effektive) Meßzeit zu wählen. (Die effektive Meßzeit kann aber wie oben erläutert durch geeigneten lückenden Betrieb passend gestreckt werden, um den Gegebenheiten eines A/D-Wandlers gerecht zu werden).

Bei geringer Prüflingsgeschwindigkeit ist es dementsprechend erforderlich, für die angestrebte kleine gewünschte Filterbandbreite eine größere Anzahl Samples zugrunde zu legen.

Gemäß der Erfindung kann dies mit einem überraschenden Minimum an Aufwand dadurch erzielt werden, daß die Anzahl der pro Transformation zugrundegelegten Samples direkt proportional der von dem Geschwindigkeitsgeber abgegebenen Impulslängen gewählt wird.

Dieser Geber kann in einfacher, an sich bekannter Weise z.B. mittels Lichtschranken so konstruiert werden, daß eine langsame Geschwindigkeit des Prüflings ein niederfrequentes Geschwindigkeitssignal liefert, welches mit wachsender Geschwindigkeit proportional höherfrequent wird. Ein Beispiel könnte sein: Geschwindigkeit 0,1 m/sec bewirkt Impulslängen von 15000 Mikrosekunden, eine Geschwindigkeit von 10 m/sec erzeugt Impulslängen von lediglich 150 Mikrosekunden usw.

Dementsprechend kann gemäß der Erfindung die gewünschte Filterwirkung am bereits demodulierten Signal jetzt dadurch gewonnen werden, daß die ermittelte Impulslänge des Geschwindigkeitsgebers als ein im wesentlichen direktes Maß für die Anzahl der jeweils satzweise auszuwertenden Samples genommen wird, so daß im letztgenannten Falle z.B. ca. 75 Samples einer DFT oder FFT zugeführt werden und im ersteren Falle z.B. ca. 7500 Samples. Wie dem Fachmann geläufig ist, steigt der Rechenaufwand bei der Berechnung einer Fouriertransformierten für eine zunehmende Anzahl von Samples lediglich sub-proportional, so daß im erfindungsgemäßen Zusammenhang eine geschickte Nutzung der Rechenkapazität der vorgesehenen Elektronik stattfinden kann. Es ist nützlich, die Zahl der jeweils einer Transformation zuzuführenden Meßwerte zu limitieren, zumindest sollte bei Stillstand des Prüflings eine entsprechende Status-Information vom Geschwindigkeitsgeber geliefert werden.

Weitere Gestaltungsmöglichkeiten ergeben sich erfindungsgemäß dadurch, daß auch die Sendefrequenz in gewissem Umfange modifiziert werden kann, indem diese durch ganzzahlige Teilung von einer wesentlich höherfrequenten Zeitbasis abgeleitet wird. Insbesondere ist es von Nutzen, eine sinusförmige Sendespannung für Spule L1 in an sich bekannter Weise mittels eines softwaregesteuerten Zählers und einer zugeordneten digitalen Sinus-Tabelle zu erzeugen, sei es per D/A-Wandler oder per Pulscod-Modulation. Selbstverständlich ist es kostengünstiger, eine frequenzvariable Rechteckspannung bereitzustellen, welche wie erwähnt den zusätzlichen Vorteil besitzt, die interessierenden Oberwellen in signifikanter Intensität ohne Mehrkosten zu liefern.

Um Energie einzusparen, kann gemäß der Erfindung so verfahren werden, daß die Sendespule lediglich einige wenige Vollwellen vor Erfassung des Abtastwertes bestromt wird (um einen Einschwingvorgang zu realisieren) und sogleich nach Erfassung des Abtastwertes zu einem passend gewählten Zeitpunkt stromlos geschaltet wird, wobei ein technisch vorteilhaftes Ausschwingverhalten der Sendespule angestrebt wird. Dies ist insbesondere für batteriebetriebene, portable Geräte von Vorteil.

In Fig. 15 bis 18 werden einige Ergebnisse für visuelle Auswertung gezeigt, wie sie gemäß der Erfindung anhand der bereits den Fig. 3 bis 6 sowie 11 und 12 zugrundegelegten

Informationen gewonnen wurden. Es werden in mehrfacher Relation und Verkettung die Daten des Trägers, der 1. und der 2. Oberwelle verwendet.

Fig. 15 beruht dabei auf der fortlaufenden Auswertung von Fouriertransformationen, die anhand all jener Samples durchgeführt wurden, die auch für Fig. 3 herangezogen wurden, d.h. ohne Defekt eines Prüflings, und während eines kürzeren Zeitintervalls.

Fig. 16 zeigt eine vergleichbare Darstellung, basierend auf den auch zu Fig. 5 und 11 gehörigen Daten ("gelückte" Datenerfassung). Man erkennt die zu Fig. 15 vergleichbare Signalform von etwa mondsichelartiger Kontur, wenn auch mit reduziertem Informationsgehalt.

Zum Vergleich zeigen Fig. 17 und 18 den Fall bei defektiver Prüflings-Oberfläche, ohne bzw. mit "lückender" Datenerfassung (gewählte Distanzzahl = 97 Samples). Die Einhüllende der dargestellten Linien ist nunmehr von deutlich gestreckter Gestalt und wesentlich anders als im Falle der Fig. 15 und 16. - Es versteht sich, daß die Figuren 15 bis 18 lediglich als Beispiel zu verstehen sind, wie erfindungsgemäß errechnete Gut- bzw. Schadens-Resultate visualisiert werden können. Die Anzahl der Visualisierungsmöglichkeiten im Vergleich zu bislang bekannten Darstellungsweisen für Prüfverfahren der hier betrachteten Art ist vergleichsweise umfangreich und kann aufgrund des fast vollständig digitalen Charakters der vorgeschlagenen Fehlererkennung in annähernd beliebiger Weise modifiziert werden. - Es versteht sich, daß für ein automatisiertes Fehlerbehandlungsverfahren die erfindungsgemäß gewonnenen Datensätze und Informationen einer zweckmäßig geeigneten Mustererkennungseinrichtung zugeführt werden müssen, um externe Hilfsmittel wie Fehler-Markierungseinrichtungen, Sägen usw. automatisch ansteuern zu können. - Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen und Verfahren können mit diversen Sensor-Systemen verwendet werden, insbesondere solchen auf Ultraschall- und Wirbelstrom-Basis, aber auch mit sog. EMAT - Systemen.

## Patentansprüche:

1.

Verfahren zur Erkennung von Defekten an Gegenständen, bei welchem unter Rechneransteuerung gleichzeitig die wechsellspannungsmäßige Bestromung mindestens einer Sendespule durch ein Trägersignal bewirkt wird, mittels mindestens einer Empfangsspule ein im wesentlichen amplitudenmoduliertes Empfangssignal empfangen wird, und wobei weiterhin eine Demodulation nicht nur des im Empfangssignal enthaltenen Trägersignals mittels Betrags- und Phasenbildung durchgeführt wird, sondern auch eine Demodulation der im Empfangssignal enthaltenen Oberwellen des Trägers, ebenfalls mittels jeweils zugehöriger Betrags- und Phasenbildung, und zwar unter Verwendung eines Fourier- oder Wavelet-Transformationsverfahrens.

2.

Verfahren nach Anspruch 1, wobei zeitlich aufeinanderfolgende Fourier- oder Wavelet-Transformationen durchgeführt werden, welche auf Mengen von jeweils mindestens 5 Samples aus unterschiedlichen Zeitabschnitten beruhen.

3.

Verfahren nach Anspruch 2, bei dem Folgen von zeitlich einander überlappenden Sample-Mengen verwendet werden.

4.

Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem pro Vollwelle des Trägersignals mindestens 2 Samples erfaßt und verarbeitet werden.

5.

Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem eine lückende Datenerfassung im Sinne eines Undersamplings erfolgt.



6.

Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welches ein zusätzliches digital wirkendes Filterverfahren für das zu demodulierende Signal und/oder dessen Oberwellen aufweist.

7.

Verfahren nach Anspruch 6, bei welchem eine Tiefpasswirkung erzeugt wird und die Breite des zugehörigen Tiefpassfilters dadurch variierbar gemacht wird, daß eine unterschiedlich große Anzahl von Samples einer jeweiligen Fourier- oder Wavelet-Transformation zugeführt wird, so daß eine kleine Anzahl von Samples eine größere Filterbreite und eine größere Anzahl von Samples eine kleinere Filterbreite bewirkt.

8.

Verfahren nach Anspruch 7, bei dem die Anzahl von Samples umgekehrt proportional ist zu einem von einem Geschwindigkeitsgeber abgegebenen Frequenzsignal, oder direkt proportional zu den von diesem abgegebenen Pulslängen.

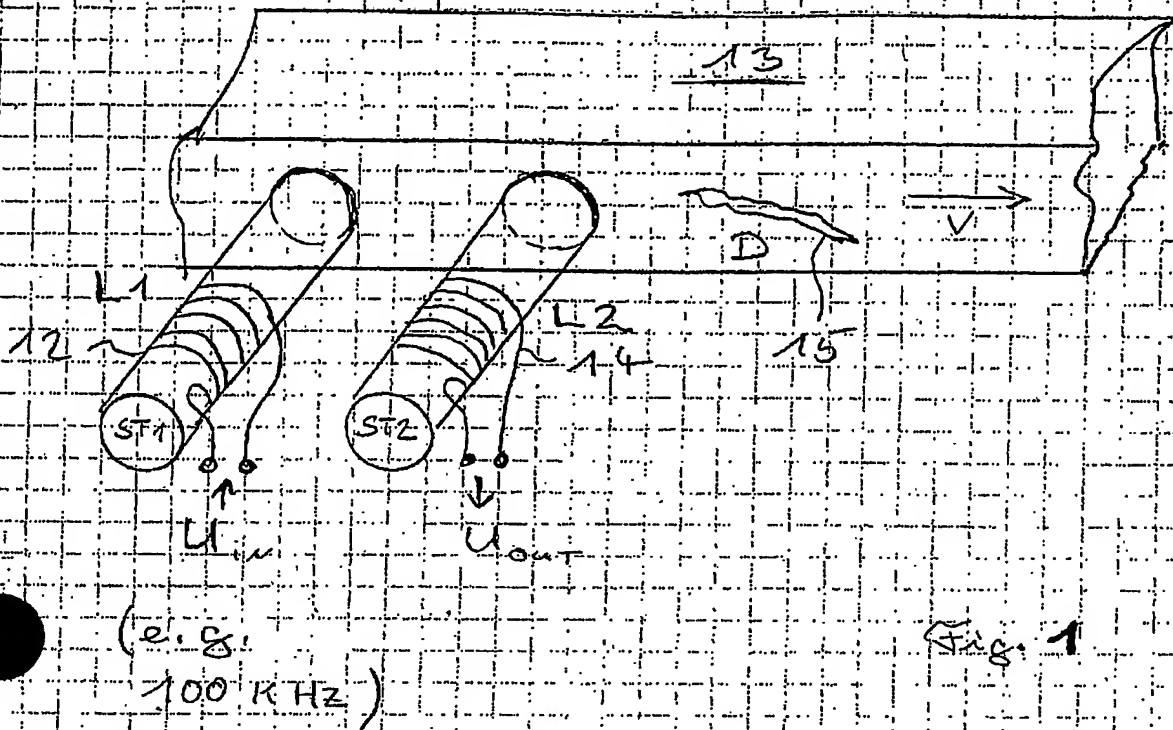
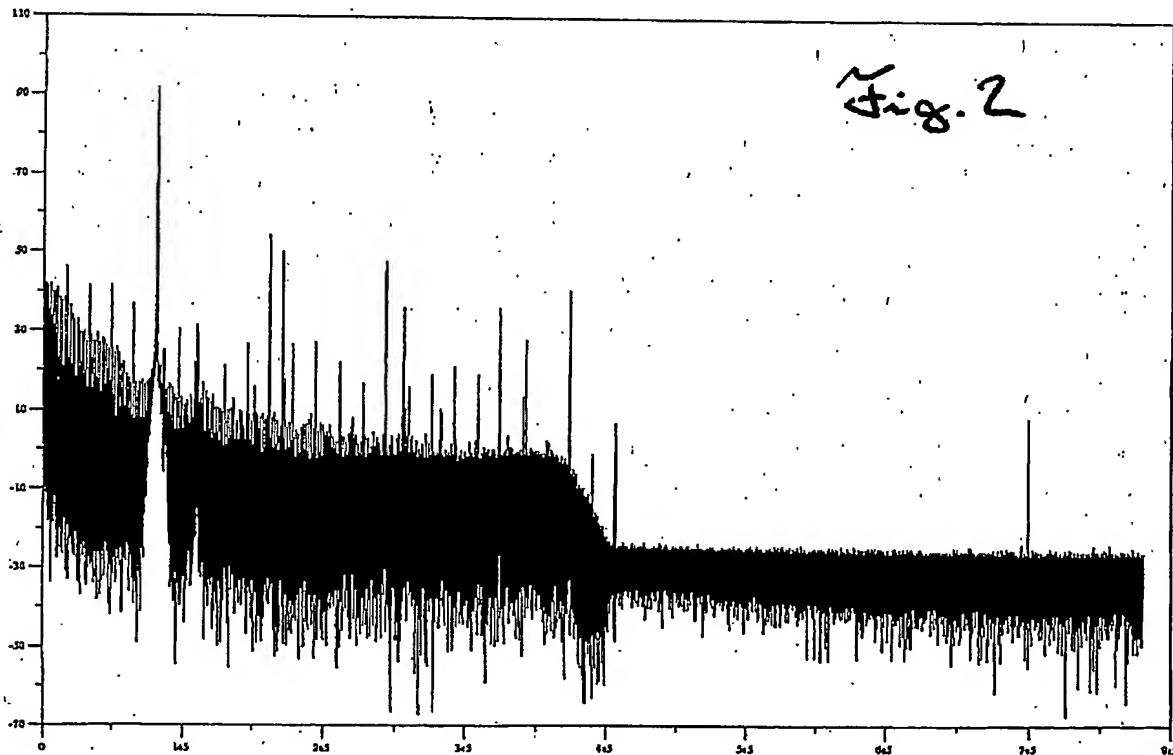
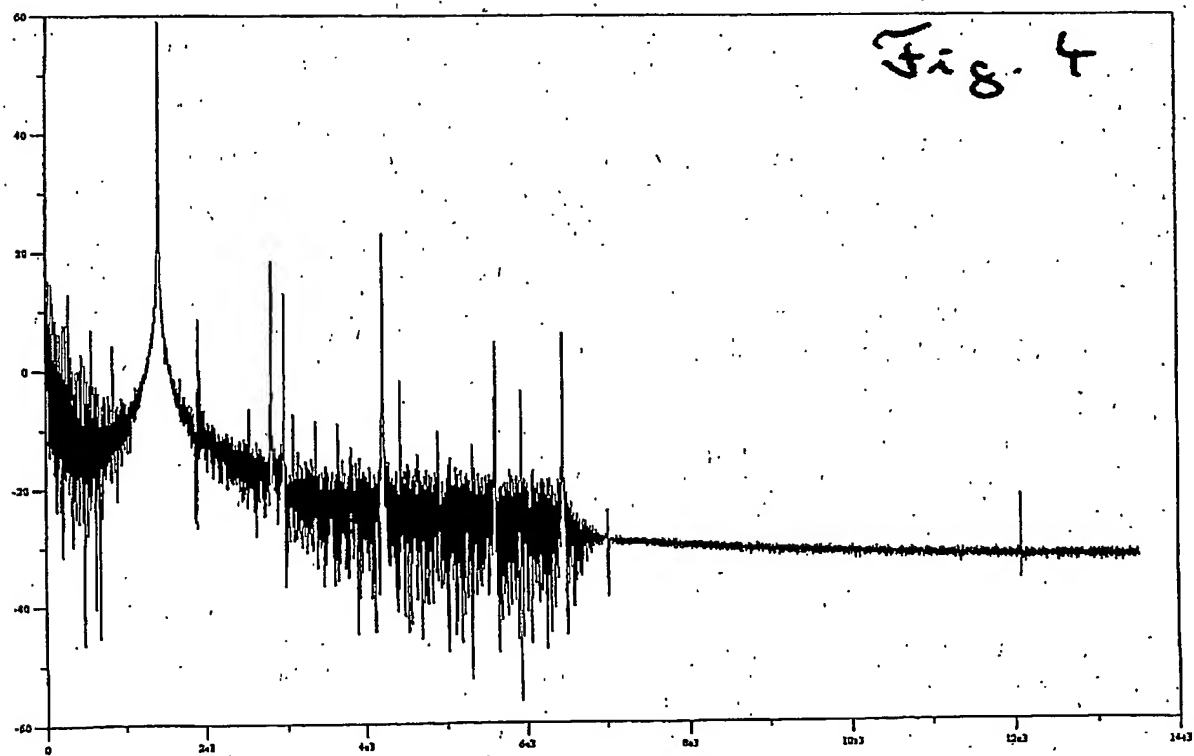
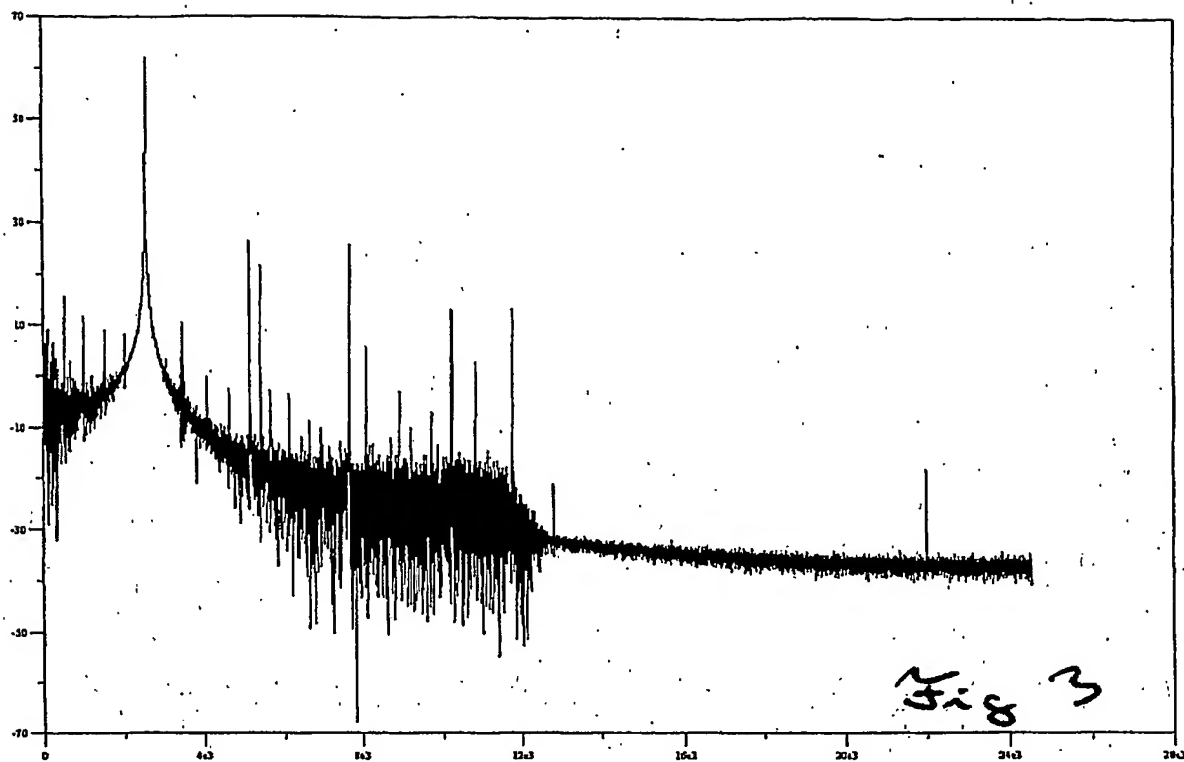
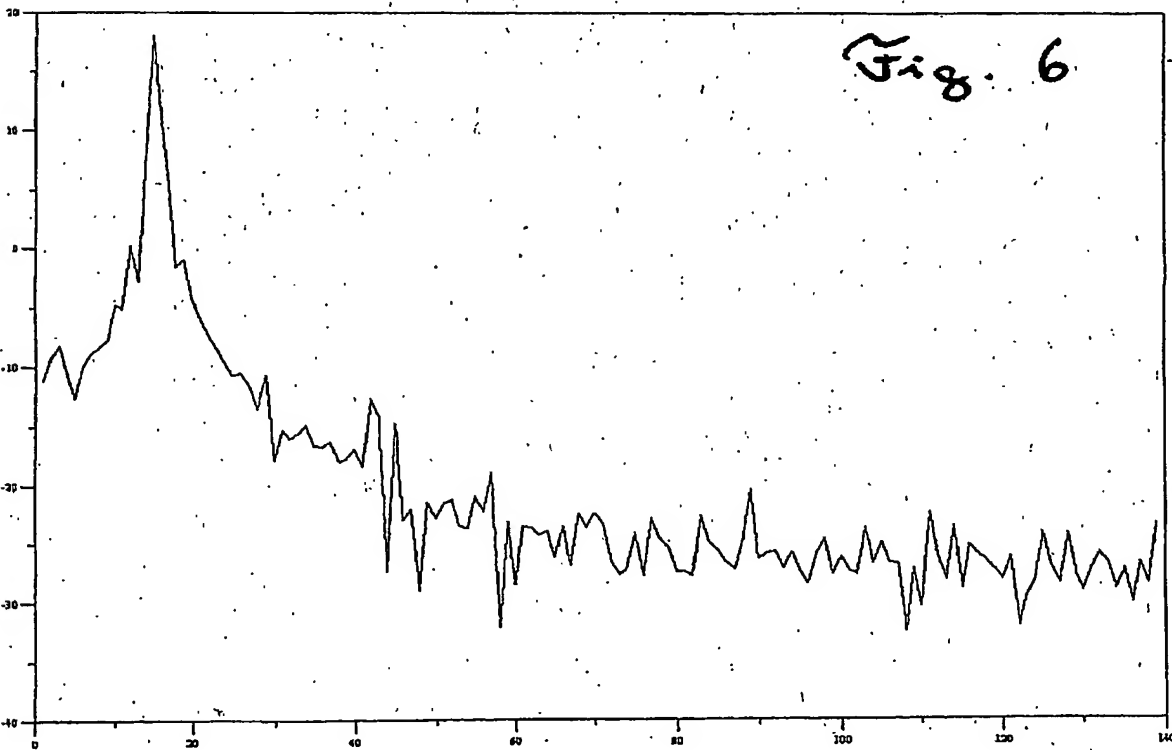
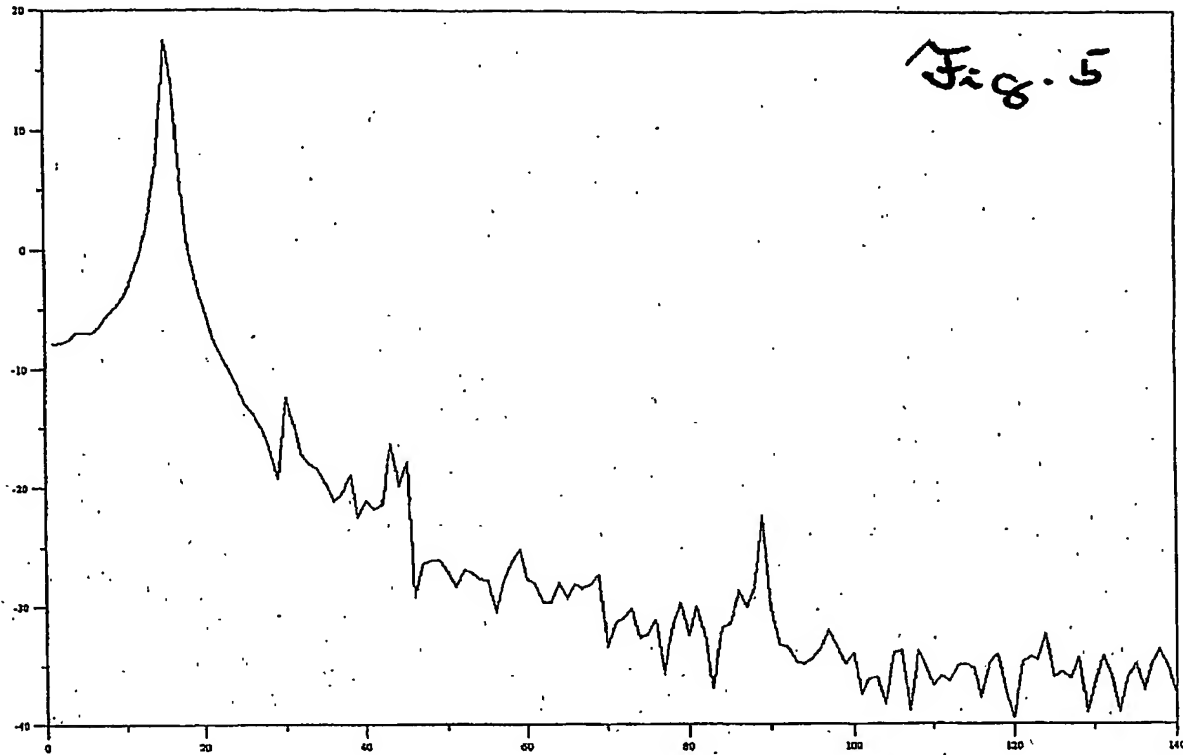
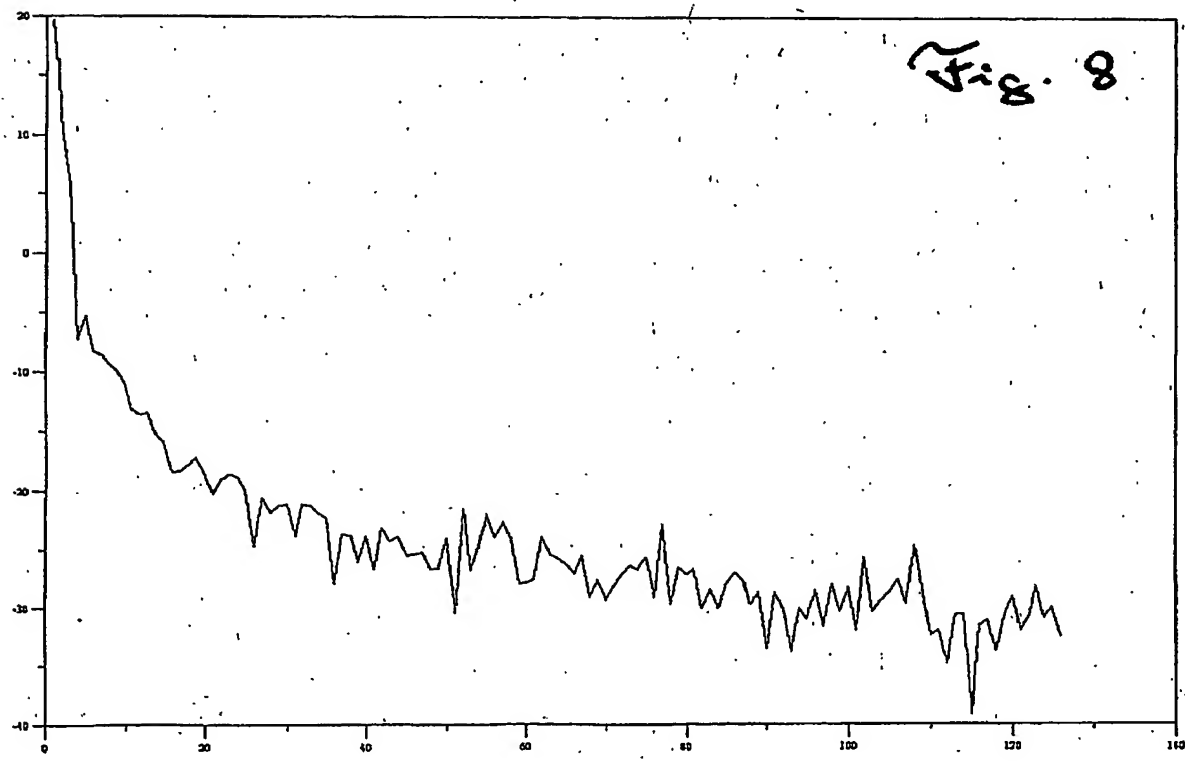
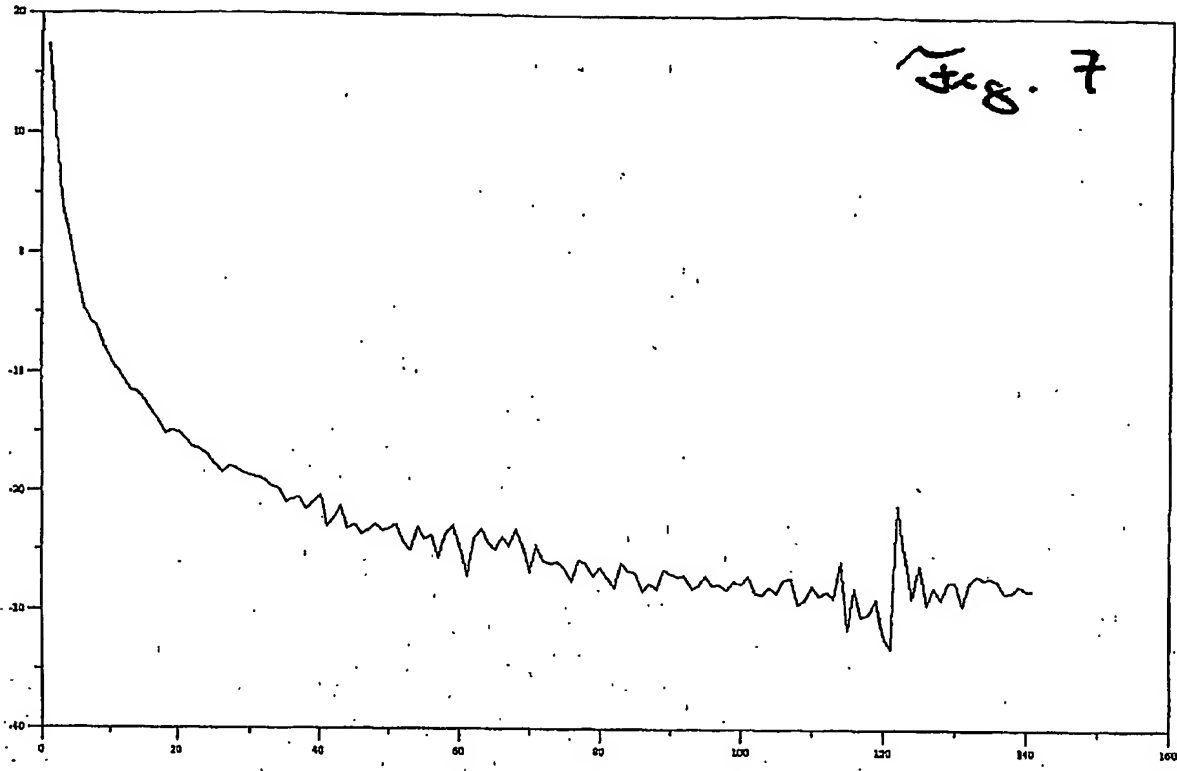


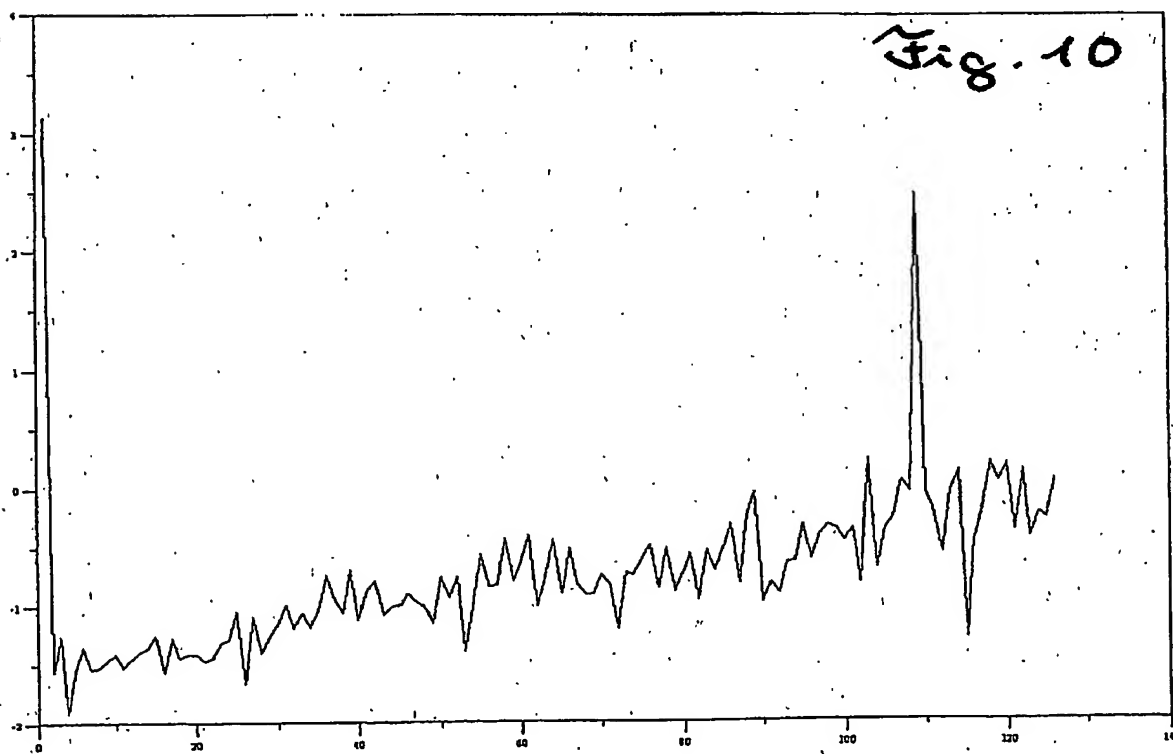
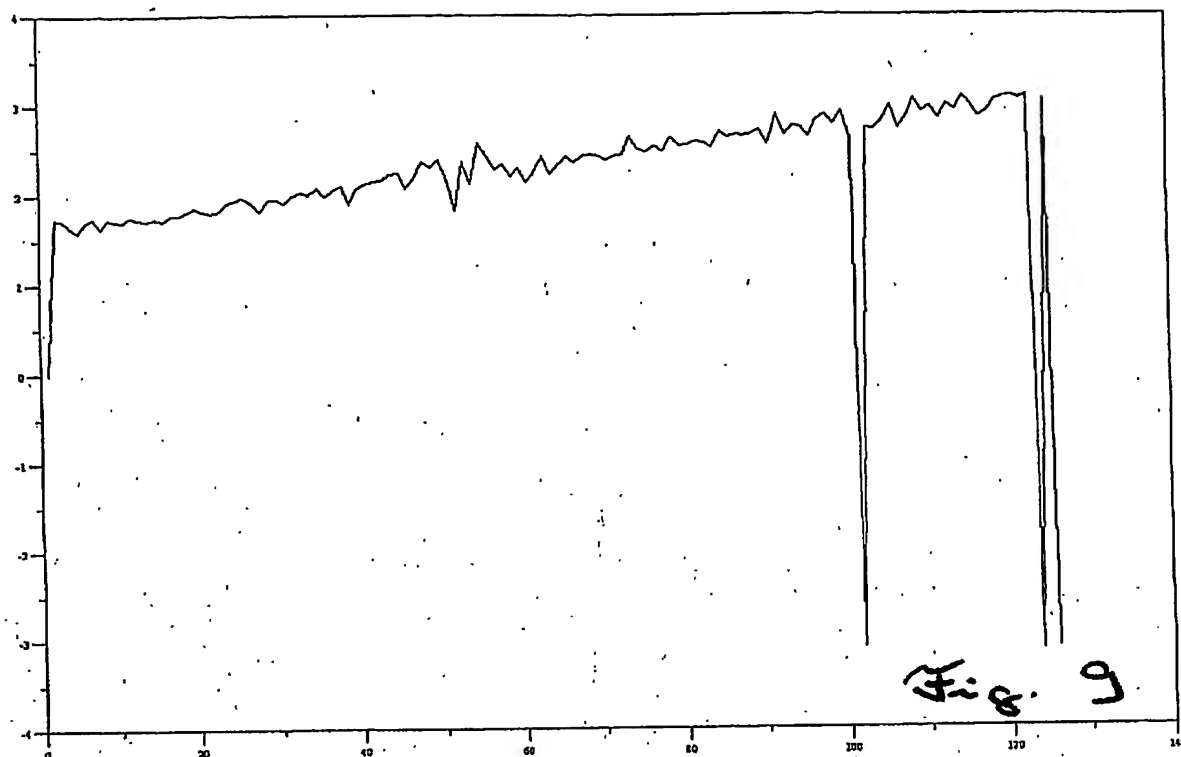
Fig. 1

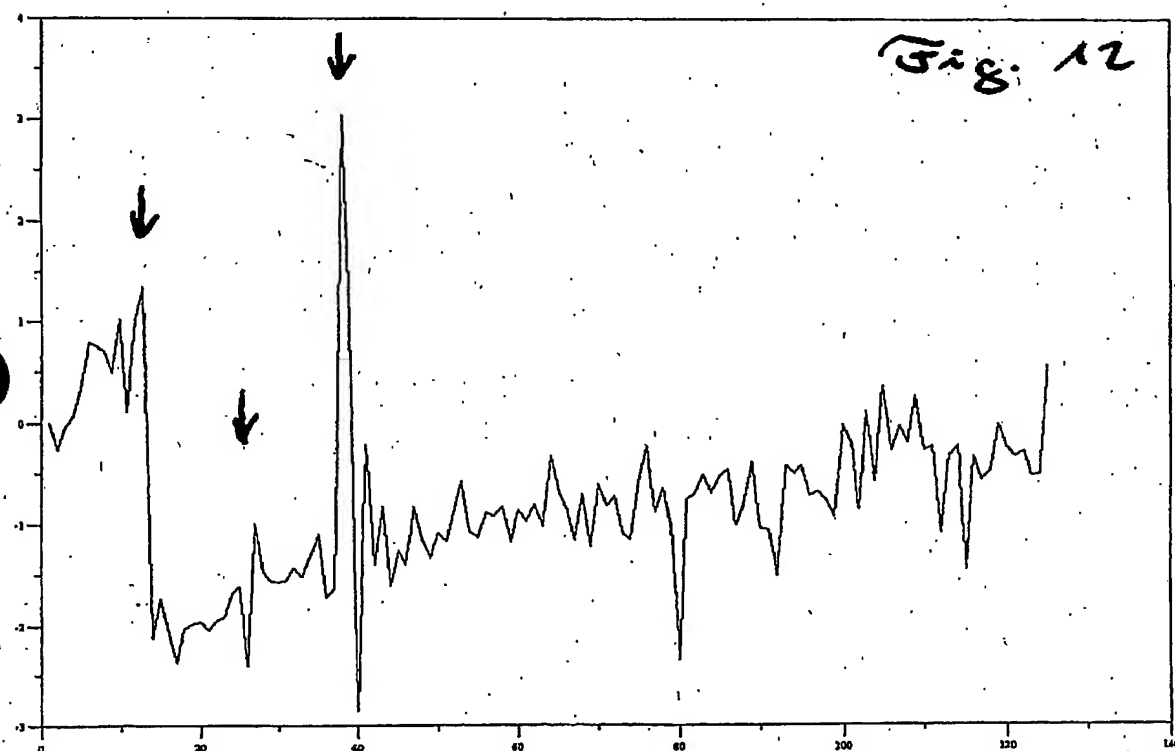
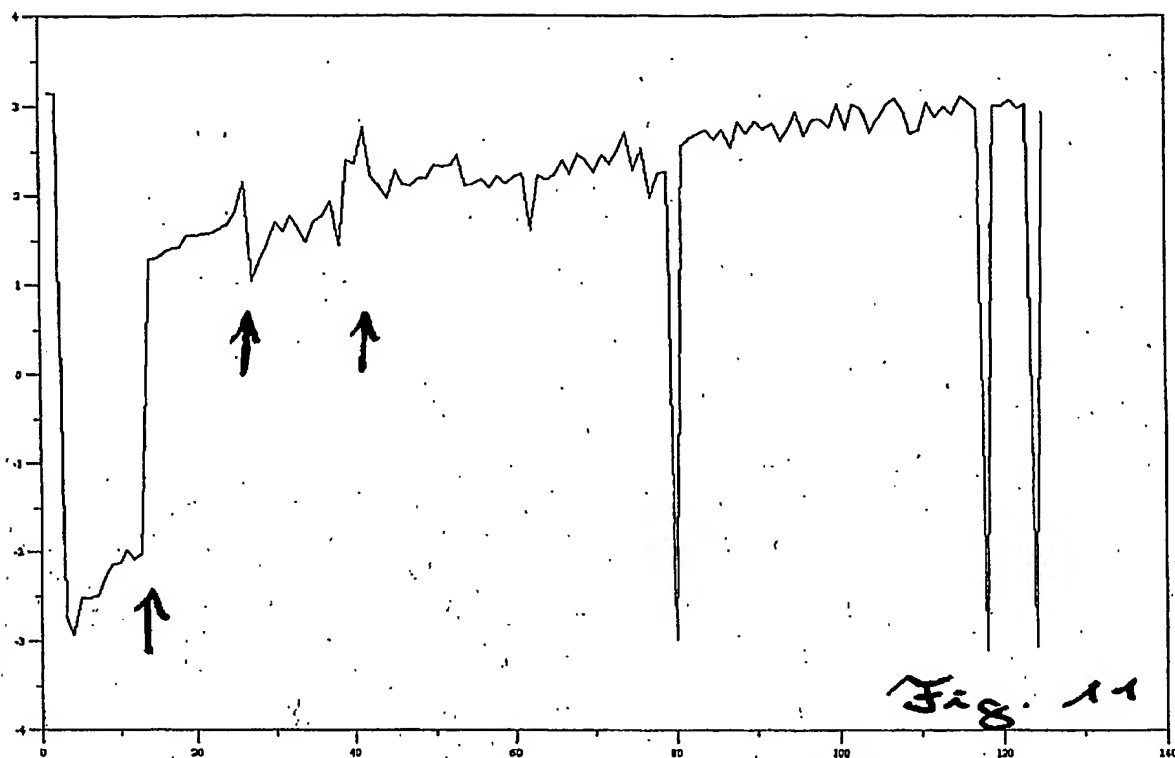












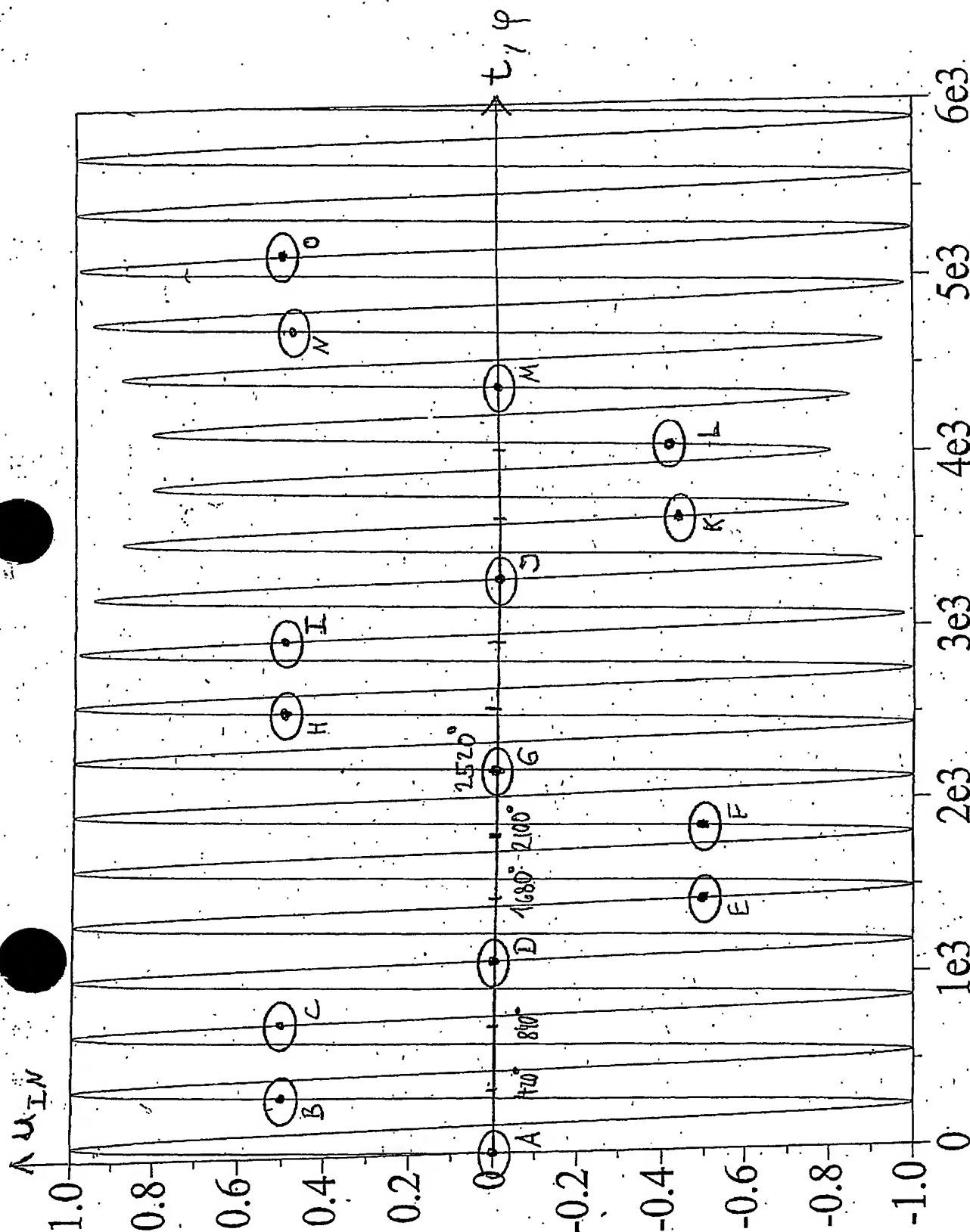


Fig. 13



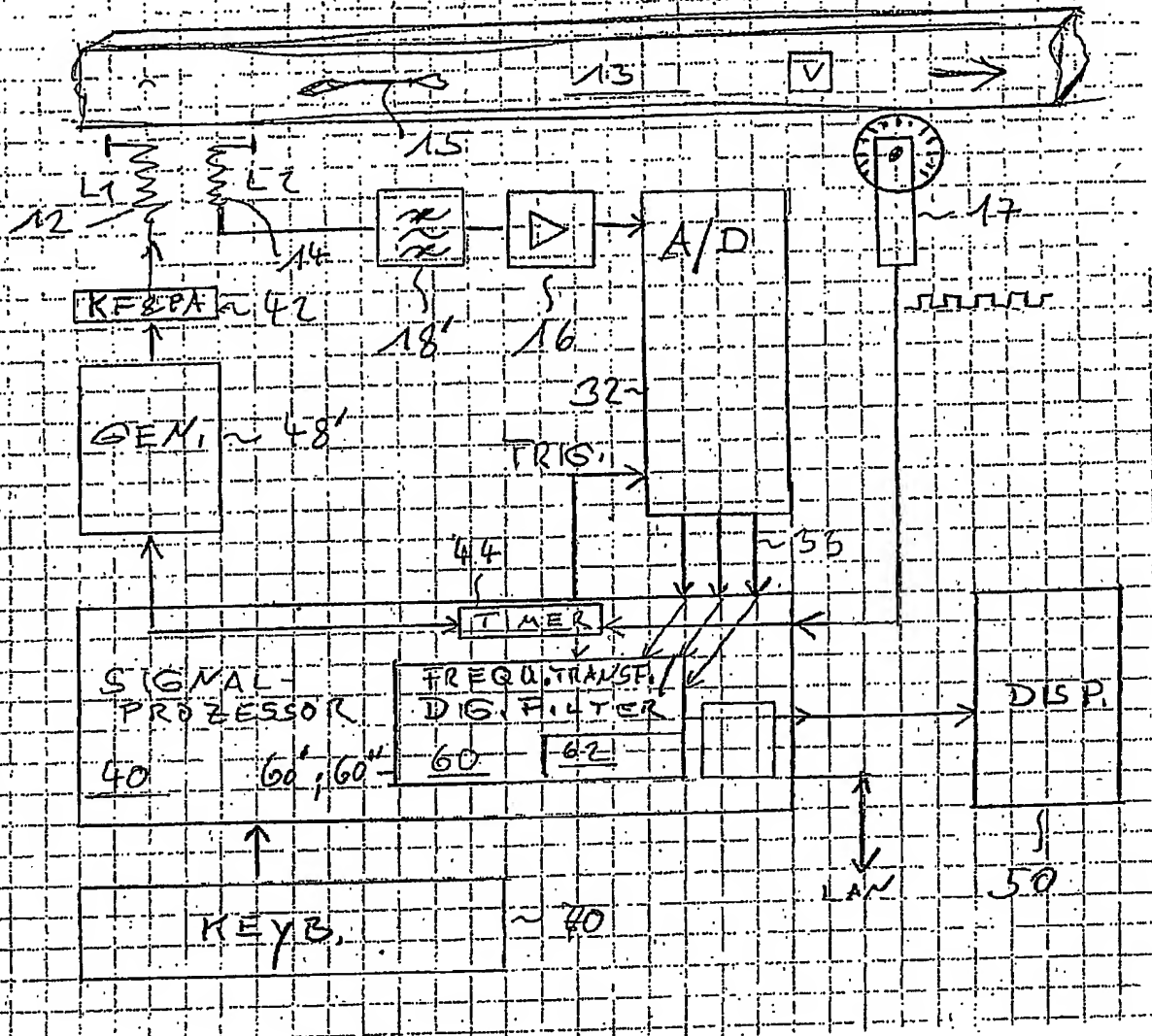


Fig. 14

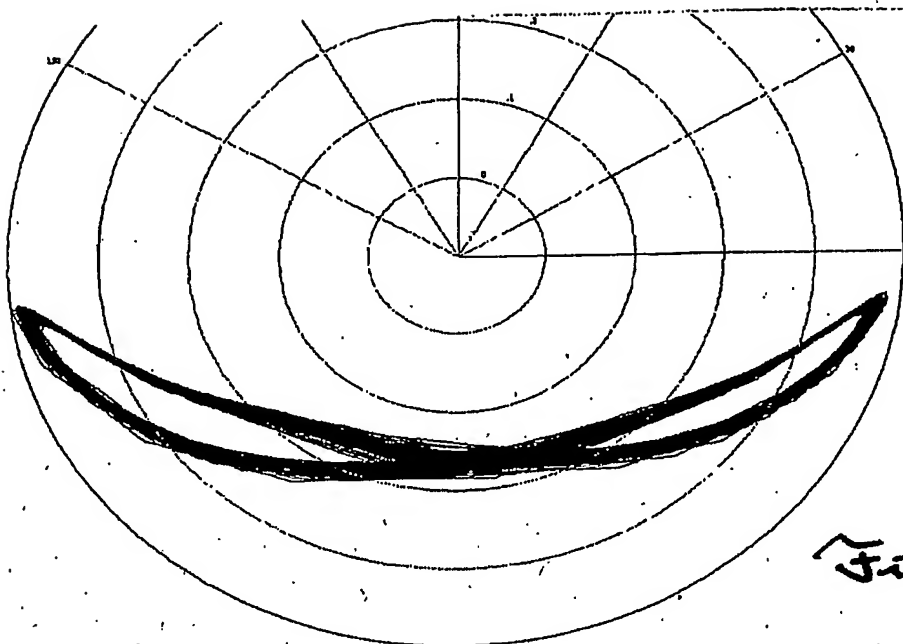


Fig. 15

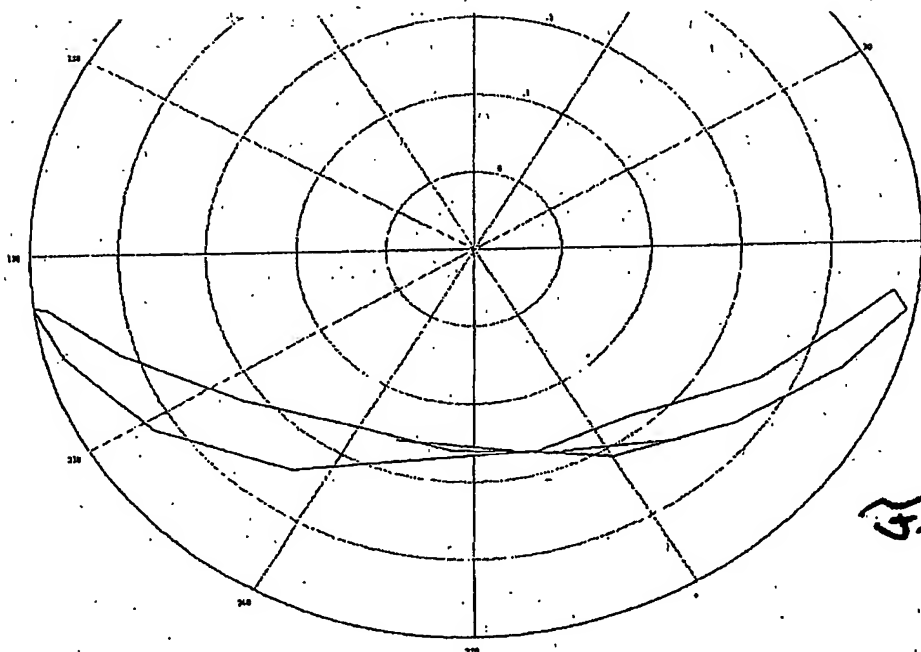


Fig. 16

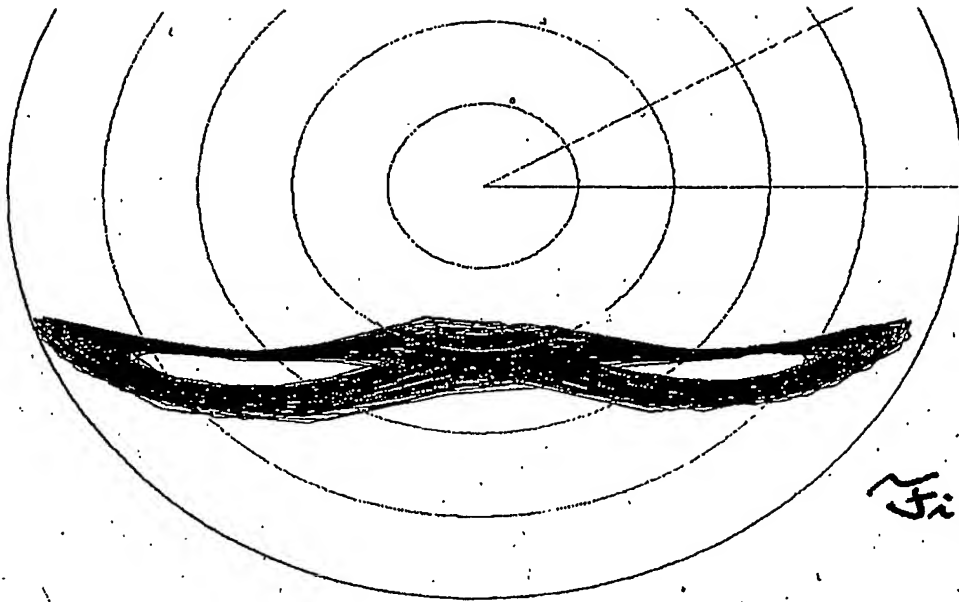


Fig. 17

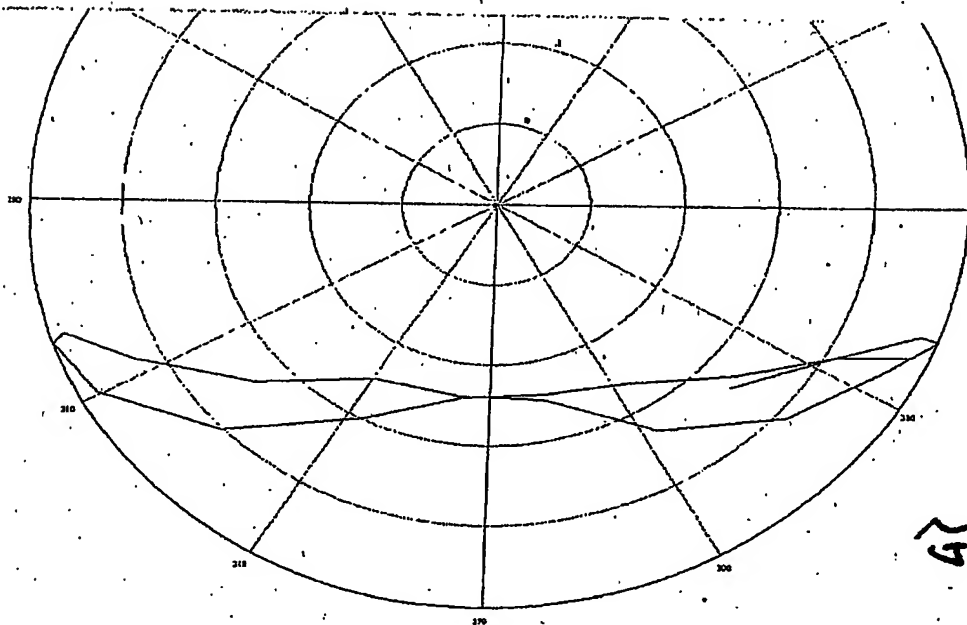


Fig. 18

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/DE05/001273

International filing date: 18 July 2005 (18.07.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 10 2004 051 949.8  
Filing date: 25 October 2004 (25.10.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 18 October 2005 (18.10.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record.**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**